

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II**



**SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE**  
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale*

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

**TESI DI LAUREA**

**“CONSOLIDATION PHENOMENA INDUCED  
BY GROUNDWATER OVEREXPLOITATION:  
THE MURCIA CITY CASE HISTORY”**

**RELATORE**

Prof. Ing. Massimo Ramondini

**CANDIDATO**

Francesco Del Giudice

*Matr. 32468*

**CORRELATORI**

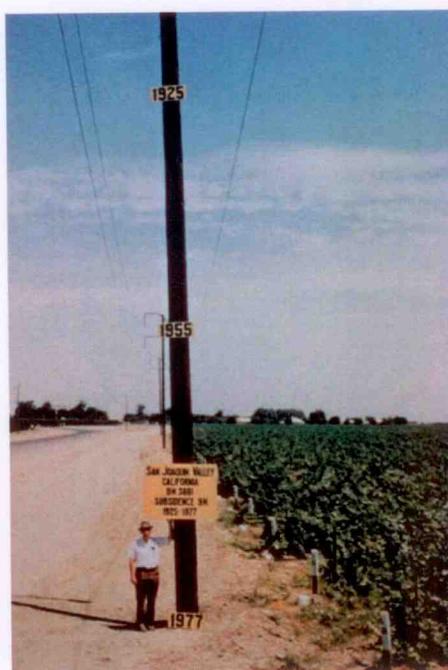
Dott. Ing. Serena Tessitore

Dott. Ing Gerardo Garcia Herrera

*Anno Accademico 2014/2015*

## Abstract

La subsidenza è un fenomeno che consiste nel graduale abbassamento della superficie terrestre. Costituisce un rischio naturale con rilevante danno economico. La subsidenza è un fenomeno che può interessare aree molto vaste con cedimenti che possono variare dai pochi millimetri a parecchi metri.



*Fenomeno di subsidenza in St. Joaquin Valley, California, US*

Le cause della subsidenza sono variabili e possono ascriversi sia a fenomeni di natura antropica che naturale: compattazione dei materiali del sottosuolo, prelievo di fluidi, scavi di tunnel o gallerie minerarie, attività tettoniche e vulcaniche.

Pertanto la valutazione del rischio da subsidenza è fondamentale per una corretta gestione del territorio. Quindi l'implementazione di un'efficace sistema di monitoraggio è di basilare importanza per comprendere le relazioni cause-effetto e mitigare l'impatto del fenomeno sugli elementi esposti.

Lo sviluppo dei sistemi di monitoraggio hanno visto il passaggio dalle tecniche topografiche a quelle strumentali che consentono una misura puntuale della deformazione del terreno. Come si detto, il fenomeno di subsidenza si manifesta su vaste aree e quindi la rete di monitoraggio prevede la necessità di installare un gran numero di strumenti di misura comportando costi

elevati.

Oggi giorno le tecniche di telerilevamento hanno dimostrato di essere un potente strumento per via della loro capacità di investigare aree molto grandi, su scale temporali lunghe, con dei costi relativamente bassi. Il monitoraggio da piattaforma satellitare è stato utilizzato per monitorare molti fenomeni di instabilità quali eruzioni vulcaniche, terremoti, frane, subsidenza, ed è stato sfruttato per le relative valutazioni del rischio.

Tra i vari sensori radar, i moderni SAR (*Synthetic Aperture Radar*) sono in grado di inviare un segnale in microonde verso l'area di interesse e non risultano essere influenzati dalle condizioni atmosferiche. Pertanto sono in grado di operare 24 ore su 24 e in tutte le condizioni di nuvolosità.

Attraverso lo sviluppo delle tecniche di interferometria DInSAR, è possibile valutare le deformazioni del terreno calcolando la differenza di fase tra immagini afferenti alla stessa area ed acquisite in tempi diversi. Tali tecniche consentono di investigare aree estese con una precisione millimetrica.

Il sistema di monitoraggio consente l'integrazione delle tecniche convenzionali e fornisce informazioni sul fenomeno nei tempi passati, quando questo non era oggetto di alcun tipo di osservazione.



*Sensore NovaSAR in "azione"*

Per quanto fin qui detto, l'implementazione di un sistema di monitoraggio integrato, tra tecniche *in situ* ed acquisizioni radar, può essere introdotto per ottenere informazioni attendibili sul fenomeno oggetto di osservazione in punti non coperti dalla rete di monitoraggio.

Il presente elaborato di tesi è dedicato all'implementazione di un sistema di monitoraggi integrato basato sulle tecniche di interferometria DInSAR, tecniche di campo tradizionali e dati geotecnici. Si vuole pertanto verificare l'applicabilità dei risultati DInSAR alla mitigazione del rischio naturale connessi al fenomeno di subsidenza.

Per queste ragioni l'attenzione è stata focalizzata sulla città di Murcia in Spagna.



Murcia

Murcia è localizzata nella piana alluvionale del fiume Segura ed è interessata dal fenomeno di subsidenza. Nell'area metropolitana, i cedimenti del piano campagna hanno causato danni stimabili in oltre 50 milioni di euro nei soli anni '90. Il fenomeno di subsidenza risulta essere dovuto al sovrasfruttamento della falda acquifera, interessando i primi 5-30 m terreni a grana fine che sovrastano uno strato di ghiaia da cui avviene l'emungimento. Il sistema idrogeologico di riferimento è quindi composto da un acquifero inferiore a grana grossa ed uno superiore composto da limi e argille. L'emungimento dall'acquifero inferiore causa un differenziale di pressione interstiziale con conseguente flusso idrico dall'acquifero superiore all'acquifero sottostante con relativa consolidazione degli strati più compressibili.

Allo scopo di monitorare il fenomeno e comprenderne il meccanismo causa-effetto, è stata posta in essere una rete di monitoraggio costituita da estensimetri e piezometri.

In aggiunta, il fenomeno di subsidenza è stato analizzato mediante l'uso di tecniche interferometriche DInSAR: a tal fine, le immagini SAR disponibili sono state processate con il metodo *Coherent Pixels Technique* (CPT).

Nel corso della realizzazione dei presenti studi, i dati estensimetrici e piezometrici sono stati elaborati e confrontati con i risultati derivanti dal processamento delle immagini SAR per verificare l'effettiva comunicazione tra gli acquiferi.

Inoltre, a partire dai dati risultanti da prove penetrometriche e con l'ausilio del metodo geostatistico, è stata realizzata una caratterizzazione meccanica del sottosuolo. Si è così ottenuta la stratigrafia del sottosuolo e sono state valutate le proprietà dei terreni (di particolare interesse le permeabilità). La caratterizzazione meccanica è stata completata mediante l'analisi dei risultati di molteplici test edometrici, si è pervenuti quindi a determinare parametri geotecnici fondamentali come la tensione di preconsolidazione  $\sigma'_p$ , il modulo edometrico  $E_{ed}$  ed il grado di sovraconsolidazione O.C.R.

Informazioni fondamentali per una futura implementazione di un modello 3D dell'area di studio in grado di simulare il fenomeno di subsidenza ed agevolare la fase di mitigazione e prevenzione.